

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 20120051302144

UDC _____

厦门大学

硕士学位论文

中国主要红树林湿地中汞的迁移、转化规律

Transport and transformation of mercury in main mangrove
wetlands of China

刘金铃

指导老师姓名: 丁振华教授

专业名称: 生态学

论文提交时间: 2008 年 4 月

论文答辩时间: 2008 年 5 月

学位授予时间: 2008 年 6 月

答辩委员会主席: _____

评阅人: _____

2008 年 4 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。
本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以
明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1、保密（ ），在 年解密后适用本授权书。

2、不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：

日期： 年 月 日

导师签名：

日期： 年 月 日

本研究受以下项目联合资助

1. 国家自然科学基金(40676064, 30530150);
2. 厦门大学创新团队

本论文的实验工作在厦门大学生命科学学院生态所完成

目录

摘要	1
Abstract	3
第一章 绪论	5
1 选题背景和研究意义	5
2 湿地汞生物地球化学行为研究现状	7
2.1 汞的基本理化性质	7
2.2 湿地中汞的生物地球化学行为	7
2.3 汞的甲基化研究进展	9
2.4 红树林生态系统汞污染的研究	10
第二章 中国红树林湿地自然环境	12
1 红树林生境的景观特征	12
2 中国主要红树林分布区及环境特征	12
第三章 样品采集与分析	16
1 研究区域和采样点的分布	16
2 样品采集和制备	16
3 主要试剂和仪器	17
4 样品分析	17
4.1 沉积物中总汞含量分析	17
4.2 植物中总汞含量分析	18
4.3 水中总汞含量分析	18
4.4 大气中总汞含量分析	18
4.5 沉积物-大气界面汞通量分析	18
4.6 汞形态分析	19
4.7 沉积物 pH、盐度、粒度、有机质、铁和锰的分析	20
5 数据处理	20
第四章 红树林湿地沉积物中的汞	21
1 中国红树林湿地沉积物中总汞的分布	21
1.1 中国红树林湿地沉积物中总汞含量	21
1.2 红树林湿地沉积物中总汞含量与其他湿地总汞含量的对比	23
1.3 红树林湿地中汞分布的影响因素	24
1.4 红树林湿地不同土地利用方式对汞含量的影响	32
2 沉积物中汞的垂直分布	33
3 沉积物中汞的形态特征	40
4 小结	45
第五章 红树林湿地水体、大气中的汞	47

1 中国红树林湿地水体中汞的分布	47
1.1 中国红树林湿地水体中汞的分布	48
1.2 中国红树林湿地水体汞与其他国家或地区水体汞相比	48
2 中国红树林湿地大气中汞的分布	49
2.1 中国红树林湿地大气中汞的分布	49
2.2 中国红树林湿地大气汞同世界其他国家或地区比较	51
3 红树林湿地沉积物-大气界面汞的通量研究	52
4 红树林湿地中汞的循环	54
5 小结	55
第六章 红树林湿地植物中的汞	56
1 红树林湿地植物中汞的分布	56
1.1 红树植物中总汞含量	56
1.2 红树植物总汞含量的空间分布	58
2 红树植物各器官中总汞浓度	61
3 小结	63
第七章 结论与展望	64
1 主要结论	64
2 论文的特色与创新	65
3 存在的主要问题与展望	66
参考文献	67
附录	81
致谢	82

Content

Abstract (in Chinese)	1
Abstract (in English)	3
Chapter1: Introduction	5
1 Background and study purpose	5
2 The study status of biogeochemical behavior of mercury in wetlands	7
2.1 The basic physical and chemical properties of mercury	7
2.2 Biogeochemical behavior of mercury in wetlands.....	7
2.3 Progress of mercury methylation	9
2.4 Study of mercury pollution in mangrove ecosystem	10
Chapter2: Natural environment of mangrove wetlands in China	12
1 Characteristics of mangrove habitat	12
2 Distribution of mangrove wetlands and environmental features	12
Chapter3: Sampling and analysis	16
1 Study areas	16
2 Sampling and preparation	16
3 Main reagents and instruments	17
4 Analysis samples	17
4.1 Analysis of total Hg concentrations in sediment.....	17
4.2 Analysis of total Hg concentrations in plants	18
4.3 Analysis of total Hg concentrations in water	18
4.4 Analysis of total Hg concentrations in air.....	18
4.5 Mercury exchange fluxes between sediment and air	18
4.6 Analysis of mercury species.....	19
4.7 Analysis of pH, Salinity, Grain, Organic matter, Fe and Mn of sediment	20
5 Data processing	20
Chapter4: Mercury in sediment of mangrove wetlands	21
1 Contents of mercury in sediment of mangrove wetlands	21
1.1 Total Hg concentrations in sediment of mangrove wetlands of China	21
1.2 Comparison of total Hg concentrations in sediment among mangrove wetlands and other wetlands	23
1.3 Influencing factors	24
1.4 Effect of different land use of mangrove on mercury	32
2 Spatial distribution of mercury in sediment	33
3 Species characteristic of mercury in sediment	40
4 Brief summary	45

Chapter5: Mercury in water and air of mangrove wetlands	47
1 Concentrations of total mercury in water from mangrove wetland.....	47
1.1 Concentrations of total mercury in water from mangrove wetland	48
1.2 Comparision of mercury in water of mangrove wetlands of China and other countries.....	48
2 Distribution of total mercury concentrations in air of mangrove wetlands	49
2.1. Total mercury concentrations in air of mangrove wetlands	49
2.2 Comparision of mercury in air of mangrove wetlands of China and other countries	51
3 Mercury exchange fluxes between sediment and air of mangrove wetlands..	52
4 Cycle of mercury in mangrove wetlands.....	54
5 Brief summary.....	55
Chapter6: Mercury in plants of mangrove wetlands.....	56
1 Concentration of mercury in plants of mangrove wetlands.....	56
1.1 Total Hg concentrations in mangrove plants.....	56
1.2 Spacial distribution of mercury in mangroves	58
2 Total Hg concentration in different organs of mangrove plants.....	61
3 Brief summary.....	63
Chapter7: Conclusion and prospect.....	64
1 Main conclusion	64
2 Characteristic and innovation of this thesis	65
3 Problems and further study	66
Reference.....	67
Appendix	81
Acknowledgement.....	82

摘要

本论文的主要研究内容有以下几个方面：(1) 红树林湿地沉积物中汞的分布特征及形态分布；(2) 红树林湿地水体中汞的含量；(3) 红树林湿地大气中汞的含量及沉积物-大气界面汞的通量；(4) 红树林湿地红树植物中总汞含量，从而探讨中国主要红树林湿地汞的迁移转化。通过本论文的研究取得以下成果：

1. 按省区污染状况，我国红树林湿地汞污染程度依次为：福建最重，广西最轻，海南与广东居中。

2. 红树林湿地中汞含量的差异是众多环境因素和人类活动相互交叉影响的结果。红树林湿地中，pH 值、粒度、有机质、Fe/Hg、Mn/Hg 与总汞含量显著相关。其中，粘粒和 Fe/Hg 是影响沉积物中汞含量最显著的因素。红树林湿地不同的土地利用方式对沉积物中汞含量反映了人类活动对汞分布的巨大影响作用。环境因素对总汞含量的综合影响作用，可以用线性回归方程表示：

$$Y(\text{总汞含量}) = 234.405 - 7.022(\text{pH 值}) - 19.313(\text{盐度}) + 22.471(\text{有机质}) + 0.428(\text{粉粒}) + 27.905(\text{粘粒}) - 0.231(\text{Fe/Hg}) - 5.518(\text{Mn/Hg})$$

3. 不同红树林区，汞含量随着深度变化呈现各自不同的规律。我国红树林区沉积物剖面汞的垂向分布共三种类型，分别为下部富集型（包括大冠沙（沙）、（泥），浮宫，东寨港苗圃）、上部富集型（包括深圳、东寨港）和均一型（包括高桥）。各红树林沉积物粒度组成和沉积物速率的不同，各地区不同时期经济发展模式和速度的不同，不同年代人类活动对红树林沉积物的影响程度的不同，造成红树林沉积物中汞在垂向上的含量变化。

4. 不同红树林湿地中沉积物形态分布不同。中国主要红树林地区表层沉积物汞形态分布大致有两种情况：一种是易挥发态汞占主要，如三亚、东寨港、高桥、大冠沙、北仑河口、云霄、浮宫红树林区。另一种是残渣态汞占主要，如深圳福田红树林区。总汞与易挥发态汞成极显著正相关 ($r=0.967, p<0.01$)；其它形态汞与总汞无显著相关性，但是碳酸盐结合态汞与铁锰氧化物结合态汞存在极显著正相关 ($r=0.871, p<0.01$)，硫化物及有机结合态汞分别与碳酸盐结合态汞和铁锰氧化物结合态汞存在极显著相关 ($r_1=0.618, p_1<0.01$; $r_1=0.686, p_2<0.01$)；有机质与总汞存在显著正相关 ($r=0.526, p<0.05$)，与残渣态汞存在极显著正相关 ($r=0.590, p<0.01$) 外，与其它形态汞无显著相关关系。

5. 我国主要红树林湿地中水体汞含量的分布变化不规则。深圳水体中汞含量为 $0.03\mu\text{g/L}$ ；大冠沙水体中总汞含量处于一个较高的水平，平均汞含量为 $0.95\mu\text{g/L}$ ；高桥水体中含量最高，达 $1.10\mu\text{g/L}$ ；三亚和东寨港水体含量居中，分别为 $0.26\mu\text{g/L}$ ， $0.41\mu\text{g/L}$ 。我国红树林湿地水体中的汞含量 $0.03\text{--}1.10\mu\text{g/L}$ ，平均为 $0.60\mu\text{g/L}$ ，高于中国其他各湿地中水体总汞含量，也远远高于世界其他各湿地中水体总汞含量。

6. 我国红树林湿地中大气汞的浓度普遍较高，为 $168.6\text{--}310.7\text{ng/m}^3$ ，平均为 239.7ng/m^3 ，高于世界其他各湿地中大气总汞含量。我国各个地区的红树林湿地大气汞含量差异显著，同一地区不同采样点大气汞含量也存在不同。浮宫红树林湿地沉积物-大气界面汞交换通量为 $5.99\text{--}17.98\text{ ng}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

7. 红树林湿地的几种主要植物中总汞浓度差别较大，不同的红树植物对汞的吸收能力和富集能力不同。各种红树植物对汞的吸收能力的顺序为：白骨壤>无瓣海桑>木榄>桐花树>海漆>黄槿>秋茄。淹水状况的不同，汞的来源和植物生理是导致植物体内汞浓度差异的重要原因。不同地区同种植物中总汞含量存在很大差异，同种植物不同器官对汞的富集程度不同，植物各器官吸收并累积汞与汞的形态有关。挥发性高、溶解度大的汞化合物更容易被植物吸收，可挥发态汞和可交换态汞对植物地上部分的贡献占有较大的比重。

8. 红树林湿地中汞可以在大气、水、沉积物和有机体中循环。红树林湿地沉积物可累积经大气沉降、地表径流进入的汞，同时，沉积物释放汞至大气和水体中，或被植物吸收富集。水体中的汞一方面可以通过潮汐作用与海水进行交换，另一方面可以沉积下来进入沉积物，或被植物体吸收。植物体内汞的迁移途径是根-茎-叶。进入到大气中的汞，一部分通过植物的吸收作用和干湿沉降重新进入红树林区，造成红树林区局部小循环；一部分进入大气层，随大气环流进行迁移，造成全球性大循环。

关键词：红树林；汞；沉积物；水；大气

Abstract

In order to study transfer and transform of mercury in main mangrove wetlands of China, samples of plant, sediment, water, air were collected from thirteen mangrove wetlands which cover main mangrove areas of China. This paper focus on the following topics: (1) distribution of total Hg concentration and species in sediments of mangrove wetland; (2) total Hg concentrations in water of mangrove wetland; (3) total Hg concentrations in air and mercury exchange fluxes between air and sediment in mangrove wetland; (4) brief analysis of total Hg concentrations in overground part of different mangrove plants. Some conclusions were drawn as follows:

1. Mercury pollution of different mangrove wetlands in China. Fujian is the highest, Guangxi is the lowest, Hainan and Guangdong are middle.

2. Discrepancy of total Hg concentrations in mangrove wetlands is due to many environmental factors and human activities. pH value, grain size, organic matter, Fe/Hg, Mn/Hg are significantly related with total Hg respectively. Clay and Fe/Hg are obvious factors influencing total Hg concentration. Otherwise, different land use plays an important role in influencing total Hg concentration. Impact of environmental factors on mercury can be showed by follow regression equation:

$Y(\text{total Hg}) = 234.405 - 7.022 (\text{pH value}) - 19.313 (\text{salinity}) + 22.471 (\text{organic matter}) + 0.428 (\text{powder}) + 27.905 (\text{clay}) - 0.231 (\text{Fe/Hg}) - 5.518 (\text{Mn/Hg})$.

3. Among different mangrove areas, there are different trends of total Hg concentrations with depth change. The vertical distribution of mercury in sediment profile of Chinese mangrove areas has three types: (1) bottom-enrichment, such as Da Guangsha, Fugong, Dong Zhaigang; (2) upper-enrichment, such as Shenzhen, Dong Zhaigang nursery; and (3) homogeneous type such as Gaoqiao. Properties of sediments and deposit rate change greatly in different mangrove areas. Economic level of local districts and human activities strongly affected pollution extent of mangrove wetlands. So content of total Hg varies greatly in spatial distribution. In addition, absorption and accumulation of mangrove plants are also important factors.

4. Different distribution of mercury species were found in different mangrove wetlands. There are two trends: one is that mercury exist mainly in the form of volatile, such as Sanya, Dongzhai harbor, Gaoqiao, Daguansha, Beilun estuary, Yunxiao, Fugong. Another trend is that mercury exist dominantly in residue state, such as Shenzhen. There are a significant positive correlation between total Hg concentration and volatile mercury ($r=0.967$, $p<0.01$), and there are not obvious relationship among other mercury species and total Hg concentrations. But the relationship of carbonate-bound mercury and iron-manganese oxide-bound mercury is strongly positive correlated ($r=0.871$, $p<0.01$), organic and sulfide-bound mercury is significant correlated with carbonates-bound mercury and iron-manganese oxide bound mercury ($r_1=0.618$, $p_1<0.01$; $r_1=0.686$, $p_2<0.01$). And the relationship of organic matter and total Hg concentrations is significantly ($r=0.526$, $p<0.05$), and that of organic matter and residue state is positive correlated ($r=0.590$, $p<0.01$).

5. Distribution of mercury in water of main mangrove wetland of China is

irregular. Total mercury in water of Shenzhen averages 0.03ug/L. And the total mercury concentration in water of Da Guangsha is at a higher level, with an average mercury content of 0.95ug/L. The highest level of total mercury is in Gaoqiao, with an average mercury content of 1.10ug/L. And the average total mercury content in water of mangrove wetland of China is 0.60ug/L, which is higher than other wetlands of China, and far higher than other mangrove wetlands of the world

6. It is generally higher of total mercury concentration in air of mangrove wetlands of China. And the total mercury concentrations ranges 168.6-310.7ng/m³, which is higher than other wetlands of the world. However, it is obviously different in different mangrove wetland areas. Otherwise, exchange flux between sediment-air in Fugong is 5.99-17.98 ng·m⁻²·h⁻¹.

7. It is a big different of total Hg concentrations among several major plants in mangrove wetland. Different mangrove plants have different absorption capacity of mercury, as the following order: *Avicennia marina* > *Sonneratia apetala* > *Bruguiera gymnorrhiza* > *Aegiceras corniculatum* > *Excoecaria agallocha* > *Hibiscus tiliaceus* > *Kandelia obovata*. Different flood conditon, source of mercury and plant physiology are important to total mercury concentrations of different kinds of plants. There is large difference among identical plants of different areas. There is also different mercury enrichiments among different organs of identical plant. Different organs absorb and cumulate mercury, which is related to mercury species. Volatile and solubility mercury can be absorbed easily by plants.

8. Mercury can circle in air, water, sediment and organism in mangrove wetlands. Sediment of mangrove wetlands cumulates mercury from air and surface runoff of earth. Mercury in sediment of mangrove wetland could enter into air, water and organism. Mercury in water can be not only exchanged with mercury in seawater, but also deposited into sediment or absorbed by plants. And mercury migration path in plant is root-stem-leaf. One part of mercury in air can reenter into mangrove wetlands, another part of mercury in air can enter into aerosphere and transfer with atmosphere circumfluence.

Key words: mangrove; mercury; sediment; water; air

第一章 绪论

1 选题背景和研究意义

汞(Hg)是常温下唯一的液态金属,以各种形态在自然界中广泛存在。汞及汞的化合物都具有很强的毒性,它们可以富集并长期存在于环境和生物体内(Clarkson et al., 1998)。甲基汞具有亲脂性、生物积累效应和生物放大效应,其毒性是无机汞的几百倍。进入人体中的甲基汞可通过血脑屏障引起中枢神经系统的永久性损伤;它还可以通过胎盘引起胎儿先天性水俣病(ATSDR, 1997)。无机汞在水生生态系统中可以通过生物和非生物的甲基化作用转化为甲基汞,从而增强其毒性,通过食物链传递进入人体,严重危害人类健康。此外,汞是一种全球性污染物,汞的点源污染能够通过大气循环扩散到全球,对人类健康和生活环境造成严重影响。自日本水俣病事件后,汞的地球化学行为受到世界广泛关注。近十年来,科学家们一直在关注汞污染以及它对环境 and 人类健康的危害。目前,对高纬度地区汞的研究已经开展了很多工作,而低纬度地区的汞研究尚待进行。

湿地生态系统通常被认为是汞的活性库,它是汞重要的源和汇(王起超等, 2002)。汞在湿地生态系统中的环境行为是汞全球循环的重要组成部分。湿地在地区汞的迁移和循环中扮演重要的角色(Driscoll et al., 1994)。红树林是热带、亚热带海岸潮间带的木本植物群落,而红树林生态系统是由红树林群落及其所在的生境相互联系、相互作用构成的。它是一种处于海洋生态系统和陆地生态系统动态交界面的湿地生态系统(Ong et al., 1995),具有其独特的环境特征:高温潮湿、日照充足、土壤盐渍化、富含有机质的淤泥海滩(金建华等, 1995)以及周期性遭受海水浸淹的潮间带环境。这一特殊的环境特征使得汞在红树林湿地中的迁移、转化行为具有区别于其他生态系统的特殊性。

红树林湿地不仅是水生生物和鸟类的重要栖息地,而且以其大量的凋落物为之提供了丰富的食物来源,从而形成并维持着一个食物链关系复杂的高生产力生态系统,为人类在红树林湿地进行水产养殖提供了良好的生态环境。而水体中的汞和汞的化合物,尤其是甲基汞在鱼类和其它水生生物体中具有极高的生物富集系数(刘永懿等, 1996),并且容易通过食物链传递危害人类健康。同时在潮汐作用和海水浸泡作用下,红树林内植物残体在厌氧状态下分解,释放的

汞可以被沉积物保持或者转化成移动性更强的形态(如甲基汞),造成湿地中汞的迁移,并可能进入食物链(Driscoll et al., 1994; Louis et al., 1994),威胁到水生生物和人类的健康。因此,存在于红树林湿地中的汞对红树林生态安全以及某些海产品(如蛏)食品安全无疑是具有极大影响的。

红树林生态系统与汞的环境行为联系密切。陈荣华通过室内红树植物栽培试验,就红树林对汞的抗性、吸收及其在生物循环和净化环境方面的作用进行了研究,提出红树林生态系统对河口区汞循环起着以下 3 个方面的作用:1.将土壤和水体中的汞吸收并贮存于植物体内;2.所提供的有机物捕集水体汞向外海扩散,得以稀释净化;3.有机颗粒对汞的富集,使得进入食物链的汞增加(陈荣华, 1986)。但是,汞在红树林湿地中的环境行为如何?汞是如何的迁移、转化?汞在红树植物中能否富集?等等这些问题都是需要关注和解决的。

鉴于红树林在我国主要分布广泛且集中,而汞在中国主要红树林湿地系统中的环境行为研究尚属空白。本论文通过对中国主要红树林地区(海南、广东、广西、福建)汞的分布,汞在大气、沉积物、植物、水中的含量和形态进行研究,力图找出中国主要红树林湿地中汞的迁移、转化规律,阐明红树林湿地未来的、潜在的环境生态问题;为解决沿海红树林生态系统汞污染提供理论指导。

本论文选择中国主要的红树林湿地作为研究对象有以下几个原因:

首先,红树林在我国主要分布于海南、广东、广西、福建、香港及台湾沿海。而海南(三亚、海口)、广东(湛江、深圳)、广西(大冠沙、山口、北仑河口、钦州湾)、福建(云霄、洛阳桥、浮宫、鹅湾、姚家屿)等建立红树林自然保护区,这些红树林自然保护区所在的纬度、地区的经济发展程度、工农业格局的分布、湿地沉积物特征、气候条件等均有着一定的变化和差别,是中国红树林湿地的代表。

其次,红树林湿地具有独特的环境特征。红树植物的高归还率,使得红树林湿地生态系统中具有较高的可溶性有机碳或可溶性有机物质,这些有机物对汞的迁移、转化具有重要作用。湿地中水体含有的大量可溶性碳和腐殖酸,能够与汞形成稳定的络合物,使得湿地能够吸收大气沉降和径流输入的汞。同时,湿地中碳的累积也为甲基化细菌的生存提供了理想的条件,会成倍增加汞的甲基化作用,导致沼泽湿地地表水和水生生物中含有高浓度的汞和甲基汞(王起超等, 2002;

Kelly et al., 1997; Rood et al., 1995)。此外,红树林湿地中高盐高硫含量、周期性水淹作用以及充足的日光对汞的含量、形态以及甲基化作用起着复杂的作用。

最后,红树林湿地具有很大的初级生产力,为生物提供营养物质和生存条件,同时也给人类带来很大的经济效益。另外,红树林湿地处于海陆交汇处,受着海陆两方面条件的制约。因此,红树林湿地中汞的来源除陆地径流、工农业废水和生活污水、大气沉降外,还有海洋潮汐作用带来的汞交换。红树林湿地是总汞的汇和邻近水域活性汞的源,汞的浓度和活性随红树林潮沟水的潮汐通量变化而变化(Lacerda et al., 2001)。

综上所述,红树林湿地是一种特殊的湿地生态系统,其复杂的生态环境,以及全球汞循环的影响导致了汞在红树林湿地中独特的迁移、转化规律。

2 湿地汞生物地球化学行为研究现状

2.1 汞的基本理化性质

汞(Hg),俗称水银,是常温下唯一的液态金属,熔点为 -38.87°C 。比重 13.595,蒸汽比重 6.9,具有很强的挥发性。汞在自然界中以单质汞、无机汞和有机汞的形式存在。其中无机和有机汞化合物中的汞大多为二价汞。二价汞离子(Hg^{2+})能与卤素离子、氢氧根离子(OH^{-})、氰离子(CN^{-})及有机配位体发生络合反应,生成一系列具有一定稳定性的络合物。 Hg^{2+} 离子与硫离子(S^{2-})有很强的亲合力, Hg^{2+} 一旦与 S^{2-} 相遇,便迅速结合成稳定的 HgS 沉淀。汞能与大多数金属形成汞齐合金。汞和汞的化合物均具有毒性,其中有机汞的毒性极强,尤以甲基汞为最。重要的有机汞包括甲基汞、乙基汞、苯基汞等。常见的无机汞化合物有硫化汞、氧化汞和氯化汞。不同形态的汞在自然环境中可以相互转化(喜田村正次等, 1977; 廖自基, 1992)。汞和汞化合物的应用十分广泛,现在世界上约有 80 多种工业生产需要用汞作为原料(李永华等, 2004)。

2.2 湿地中汞的生物地球化学行为

湿地中汞的生物地球化学行为是汞的生物地球化学循环的组成部分。研究内容主要包括:湿地生态系统中汞的来源,湿地各环境要素中汞的分布、形态,湿地汞界面反应通量及迁移机制,湿地汞的形态转化及环境效应,湿地汞循环(王起超等, 2002)。

2.2.1 湿地中汞的来源

湿地中汞的主要来源由区域地质来源、径流输入和大气干湿沉降。对于地质条件特殊的地区，地质因素是重要的。如汞矿带地区土壤汞含量一般较高，这对湿地生态系统中汞的输入有很大的影响。径流输入分为点源和非点源，点源包括化工、冶金、黄金冶炼废水、废渣中的汞，一般具有较高的源浓度和明显的空间梯度。非点源则包括含汞农药、化肥等排放的汞。汞的大气干湿沉降虽然强度不高，但具有持续和累积的特点，对于远离工业活动的地区，大气输入是湿地汞的主要来源。

2.2.2 汞在湿地生态系统中的含量、形态和分布

从 20 世纪 80 年代后期，汞在湿地系统各生态要素中的分布和形态研究日益受到重视。鱼类由于处于水生食物链的顶级，又是人类的食物，直接关系到人体健康，因此鱼体中总汞和甲基汞最受关注。许多国家的科学工作者相继报道了鱼体中高含量的汞和甲基汞。除鱼外，对水生食物链的其它环节也进行了很多研究。如 Tremblay 报道了水库中羽化昆虫体内总汞和甲基汞含量 (Remblay et al., 1998)，Kelly 和 Patersons 相继报道了水库水淹后，水体和浮游动物体内总汞和甲基汞浓度增加。此外，大量的研究表明湿地土壤和沉积物中汞含量较高 (Kelly et al., 1997; Patersons et al., 1998)。

2.2.3 湿地汞的迁移、转化机制

湿地汞的迁移与转化机制研究从宏观上要回答汞的界面通量、源与汇的作用及其特征，从微观上要解决汞在特定环境条件下的物理、化学和生物学的变化。汞的界面反应作为汞全球循环的一部分已开展了广泛深入的研究。界面反应包括大气—水、大气—土壤、水—沉积物、大气—植物界面上的质量交换和形态转化。所有的界面反应都是双向过程。

湿地的水文与生态条件对于汞的迁移与转化具有独特的影响(丁振华等, 2005)。Wallschlager 研究指出区域水体汞浓度与土壤汞向大气的再流通具有藕合性。湿的土壤具有较高的土壤挥发速率并降低土壤对汞的吸附。在汞的生物地球化学循环中，湿地特殊的环境性质起着重要的转换作用。如湿地水体中丰富的 DOC 使得汞容易形成有机络合物，生物可利用度提高；湿地中氧化还原条件对沉积物中汞的迁移率有明显影响，Mejli 报道湖泊中汞的循环与对氧化还原

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库